

早稲田大学大学院国際情報通信研究科

博士論文概要

論文題目

音文化財のあるがまま記録・伝送
に関する研究

Recording and Transmitting Acoustical Heritage
as it is

申請者

氏名

武岡

成人

Shigeto

TAKEOKA

専攻名・プロジェクト名
(課程内のみ)

国際情報通信学専攻
音響情報処理研究Ⅱ

2006 年 2 月

概要

本論文は近年の半導体技術や光半導体技術の発展を背景に蠟管，レコード等の有形文化財や演劇や伝統芸能等無形文化財に対してできる限り対象に影響をあたえることなく，かつ細大漏らさず情報を読み取る保存手法の確立を目的として行ってきた研究について論ずる．先人の優れた技術や工夫を，音場の収録の基本原理を見直しそれらに現在の技術を用いることによる新しい音場の収録技術確立しようというものである．

早稲田大学は 2000 年 3 月にユネスコと協力協定を締結するとともに各種文化遺産や文化を支える技術活動を行っている．我々の研究グループにおいてもユネスコの“New Technology for Culture”プログラムと連携して世界文化遺産の“あるがまま”記録，伝送を目標に音文化財の保存に関する活動を進めている．これまで劣化の激しい貴重な文化遺産である蠟管やレコードの雑音の除去等を行ってきた．また演奏や伝統芸能等の保存として画像は高精細デジタルカメラ，音響信号は高速 1bit 録音機を用いて可能な限りあるがままの記録を目指してきた．

近年人間の感性を利用して情報を削減するいわゆる圧縮技術が広く実用されている．しかしながら音文化遺産は時間と共に少なからず経年変化し，また演奏等音文化財においては全く等しい演奏・演劇は実際には 2 度とありえないといった側面を有しているのでそれらの保存は見かけ上の効率にとられるのではなく，内容はもちろん材料や空間情報にいたるまでをその時点でのできる限りあるがままの記録手法により行われるべきである．それ故に保存作業は本来それにより対象を傷つけたり一部の情報のみの記録手法ではあってはならない．本論文はそのような観点から音文化財に対してできる限り対象に影響を与えないあるがままの記録手法，またそれらの再生手法の確立を目指して行った研究に関して論ずるものである．

本論文ではレコード等の文化遺産に対してはレーザ光を用いた非接触での，レプリカの作成も可能であるような詳細な全面読み取りと音情報の抽出，演奏等音文化財の保存再生としてキルヒホッフの積分公式に基づく 3 次元音場記録伝送方式を実現する電気音響変換器の提案，及び半導体レコーダを用いた頭部伝達関数によらない 3 次元音場記録手法について論じる．

以下に本論文の構成を示す．

第 1 章「序論」では，音文化財の保存手法の現状とあるべき姿について述べ，本研究の位置づけを述べる．

第 2 章「レーザ光全面読み出しによる蠟管・レコードのあるがまま再生」では，失われつつある有形の文化財の保存手法を提案するとともに様々な情報の抽出法を検討した．

現在貴重な文化財であるレコードやテープに記録された映像や音を再生

し、CD、DVD等のデジタルメディアに記録保存するといういわゆるデジタルアーカイブ作業が盛んに行われている。これらは多くの場合アナログのレコードプレーヤやテープレコーダを用いて再生した信号をデジタル収録し、必要に応じて雑音や歪の軽減処理を施しデジタルメディアに記録している。しかし、レコードやテープをアナログ再生する場合、針や再生ヘッドにより貴重な文化財が傷んでしまい収められていた情報が失われる可能性が大きく特に痛みの激しい文化遺産においてはアナログプレーヤに掛けること自体がためらわれる。また、通常レコードのアナログ再生時には再生針は音溝全面には接しておらず、音溝に刻まれた音情報全てを読み取っているわけではない。更に接触再生である以上再生による媒体の劣化は不可避である。そこで本研究ではレーザ技術を用いて蠟管・レコードの全面を非接触で読み出し保存・再生する手法を確立した。また本手法においては対象となる蠟管・レコードの音溝ばかりではなく全面を読み出し、できる限り詳細な、必要に応じてレプリカの作成も可能であるような3次元形状の記録を行った。得られた3次元形状からの音溝情報全体を用いた音情報の抽出手法に関して検討を加えた。また、劣化した蠟管や破損した蠟管からも同様の3次元測定を行い収録音の再生、原型復元を行った。

第3章「3次元音場再生を目的とした電気音響変換器」ではキルヒホッフの積分公式に基づく境界面制御による3次元音場の実現手法について述べる。

3次元音場の再生手法としてキルヒホッフの積分公式に基づく手法が知られている。これは閉曲面上での音圧と法線方向の粒子速度を再現することにより境界面内の領域の音場を再現するものであるが、制御点が膨大になることが問題となる。境界面制御の実用技術として構成の自由度の高いフレキシブルコンデンサスピーカを用いた実現可能なチャンネル数でのキルヒホッフの積分公式に基づく3次元音場再生システムを構築し効果を確かめた。

コンデンサスピーカと高速1bit信号処理を併用することによりボイスコイル抵抗は無くなり高効率かつ高音質な電気音響変換系を構成することができるが、一般にコンデンサスピーカは高電圧駆動でありスイッチング素子は高圧条件下では低速であることから純粋な高速1bit信号での駆動は困難であることがしばしばあった。2002年に服部らは $\Sigma\Delta$ 変調器に磁気ディスク等に用いられていたランレングスリミテッドコーディング(RLLC)の概念を取り入れ最小反転間隔を設ける代わりに標本化周波数を高くとることによりS/Nを確保したままスイッチング回数を低減できることを確認した。しかしながら標本化周波数が上がることにより効果と比してビットレートによるコストが問題となることがあった。そこでRLLCに最適符号化を導入しビットレート及び所望の帯域でのS/Nを保ったままでのスイッチング回数の低減を提案し効果を確認した。

現在広く使われている電気音響変換器、ダイナミックスピーカは1925年にアメリカのC.E.RiceとE.W.Kellogにより発表されたものに基づいている。その後様々な検討が積み重ねられ今日の性能を得るに至っているが、その原型は

80年近く変わっていないと言える。キルヒホッフの積分公式を満たす再生系では膨大な制御点が必要となり前述の制御点数を限定する手法では宿命的な限界という問題点もあった。そこで形状の自由度が高く、将来的には電磁波等の利用により非接触駆動系を期待できる再生系として相変化を利用したスピーカの提案・実験を行った。塩化ナトリウム水溶液の相変化を利用した電気音響変換機を試作し各種測定、歪みの軽減を行い、相変化による音響信号の再生が可能であることを示した。

第4章「半導体 1bit レコーダを用いた分散収録システム」では演劇や合唱などの文化財に対して音源自体を収録・再生することによる頭部伝達関数によらない音場の再生システムを提案するとともに演者に機器の存在を感じさせない収録手法に関して述べる。

第3章において境界面制御による3次元音場の伝送手法を検討したが、原理上システムが大規模になることは避けられない。そこで本章においては生成音場の収録を目指すのではなく音源周辺に小型の収録機を設置し、同一の配置で再生することにより極めて簡単かつ聴者の位置に寄らない3次元音場の再生システムを提案し構築した。またマルチチャンネル収録時には機器の存在やマイクロホンと収録機を結ぶケーブルが存在自体や心理面において表現の妨げになることがしばしばあった。そこで本研究ではそれぞれが独立しケーブルを必要としない小型かつ高性能なレコーダを多数配置し何らかの方法で統合制御することによりスタンドアロンかつ同期運転するマルチチャンネル収録手法を提案・開発した。

本システムは収録に際して通常システムではハードウェアで決まるチャンネル数に制限がないという特徴も有しており、必要に応じて任意の標本化周波数も選択も可能である。

小規模かつ高性能な収録系の実現に有効である高速 1bit 信号処理を解説し、提案する分散収録システムについて述べる。またそれら提案に基づき作成した小型半導体レコーダについて論じる。また応用として複数チャンネルの小型半導体レコーダを作成し簡便かつ存在を意識させない規模での高品質なマルチチャンネル収録が可能となるシステムを構成し行った録音活動を述べる。

第5章「総括」では本研究を総括し、今後の課題について論ずる。

研 究 業 績

類 別	“題名”、 発表・発行掲載誌名、 （発表・発行年月日）、 連名者
論文誌 論文	<p>“レーザ光全面読み出しによる蠟管・レコードの再生” 日本音響学会誌 60 巻 10 号(2004) pp. 581-587 ○武岡成人 服部永雄 山崎芳男</p>
論文誌 論文	<p>“同期に GPS・室内照明を利用した 1bit 記録再生システム” JAS Journal Vol. 45 No. 2&3 (2005) pp. 49-53 ○武岡成人 岡崎正倫 山崎芳男</p>
論文誌 論文	<p>“相変化を利用したスピーカ” 日本音響学会誌 62 巻 2 号(2006) (掲載決定)pp. 1-7 ○武岡成人 柴田隼吾 山崎芳男</p>
国内 研究会	<p>“コンデンサマイク／スピーカを用いた 1bit 波面記録再生システム” 信学技報 EA2005-24(2005-06), pp. 25-30 ○武岡成人, 栗原誠, 岡崎正倫, 及川靖広, 西川明成, 山崎芳男</p>
国内 研究会	<p>“相変化を利用したスピーカ” 信学技法 EA2004-104 (2004-12) pp.7-12 柴田隼吾 武岡成人 岡崎正倫 山崎芳男</p>
国際学会 論文	<p>“Preservation of Data in Gramophone Record by Non-destructive Fully Scanning Method” The 18th International Congress on Acoustics (ICA 2004(Apr)) ○Shigeto Takeoka , Takanori Tokuno , Yoshio Yamasaki</p>
国際会議 講演	<p>“Recording and playback the Koran with data compress” 国際シンポジウム"Islam and IT", タシケントイスラム大学(ウズベキスタン) (2003.3) 武岡成人, 服部永雄, 山崎芳男</p>
国際会議 講演	<p>Preservation of Acoustic Recordings 国際シンポジウム"Islam and IT", カイロ大学(エジプト) (2002.3) 武岡成人, 山岡憲二, 山崎芳男</p>

国際会議 講演	<p>“スタンドアロン1ビット処理システム” 国際シンポジウム 1bit フォーラム 2005 pp. 9-10 (2005. 11) 武岡成人</p>
国際会議 講演	<p>“生活に密着した芸術としての音楽の行方” 国際シンポジウム 1bit フォーラム 2005 pp. 11-13 (2005. 11) 加藤悠貴, 武岡成人, 山崎芳男</p>
国際会議 講演	<p>“1ビット小型半導体レコーダ：アンサンブルシステムの提案” 国際シンポジウム 1bit フォーラム 2003 (2003. 12) 武岡成人, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“受動素子を用いた高速 1bit 信号処理” 音響学会 講演論文集, pp. 475-476, (2005. 3) 武岡成人, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“音の記録を意図しない対象からの音情報の抽出” 音響学会 講演論文集 pp.639-640 (2004.9) 徳野貴紀 武岡成人 中沢誠 大内康裕 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“破損したレコードの非接触非破壊再生” 画像電子学会 第31回年次大会 pp.171-172 (2003.6) 武岡成人, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“高速 1bit アンサンブルシステムの構築” 音響学会 講演論文集 pp.789-790 (2003.3) 服部永雄 武岡成人 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“破損したレコードの非接触非破壊再生” 音響学会 講演論文集 pp.665-666 (2003.3) 武岡成人 服部永雄 山崎芳男</p>

国内大会	<p>“レーザ光全面読み出しによる蠟管・レコードの非接触・非破壊再生”</p> <p>画像電子学会 第30回年次大会 pp.171-172 (2002.6)</p> <p>武岡成人, 山岡憲二, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“レーザ光全面読み出しによる蠟管の再生”</p> <p>音響学会 講演論文集 pp.563-564 (2002.4)</p> <p>武岡成人, 山岡憲二, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“音響クラスター分析を用いた音の特徴抽出”</p> <p>音響学会 講演論文集 pp.661-662 (2003.3)</p> <p>中沢誠, 武岡成人, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“一般化調和解析を用いた受音点数より多い音源の分離”</p> <p>音響学会 講演論文集 pp.671-672 (2003.3)</p> <p>木村洋介, 武岡成人, 中沢誠, 山崎芳男</p>
国内大会	<p>“近接四点法とドップラー効果による移動音源の位置推定”</p> <p>音響学会 講演論文集 pp.647-648 (2003.3)</p> <p>金子穂積, 武岡成人, 山崎芳男</p>